

- Etude des dispositifs permettant d'assurer un transfert de puissance entre une source et une charge avec un bon rendement énergétique.
- Convertisseur de puissance à haut rendement énergétique ne comprenant donc que des interrupteurs et des dipôles ou quadripôles non dissipatifs tels que :
 - des condensateurs
 - des bobines
 - des diodes
 - des thyristors.
- Ces éléments fonctionnent alors essentiellement en régime de commutation.
- Etude des convertisseurs statiques $\equiv$ dispositifs capable de modifier la tension et/ou la fréquence d'un signal.

1^{ère} Partie : le transformateur $\equiv$ base de la conversion
 faisant notamment le lien entre la centrale électrique et nos appareils ménagers.

2^{ème} Partie : le redressement $\equiv$ conversion d'un signal à $\langle u \rangle = 0$ à un signal $\langle u \rangle \neq 0$.

Biblio : * Quaranta III
 * Quaranta IV
 * Duffaut d'électronique.

Théorie : Traitement de l'énergie électrique Poloujadoff
 Cours d'électrotechnique (2). Dalmasso.

I - Le transformateur

(2)

Il est constitué :

- d'un circuit magnétique fermé. Matériau ferromagnétique de grande perméabilité pour contenir au maximum le flux du champ magnétique.

Ordre de G : $\mu =$

- de deux enroulements

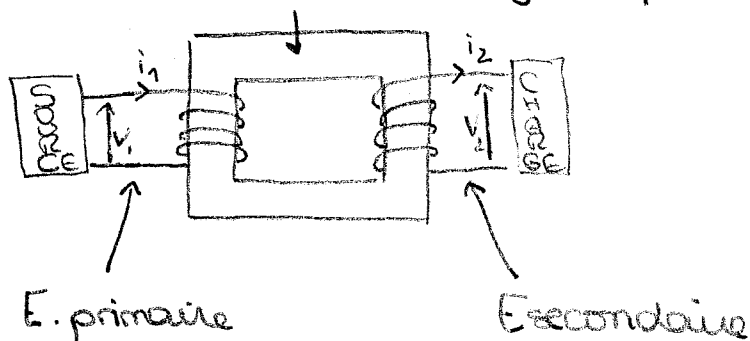
- * l'un est l'enroulement primaire il comporte n_1 spires et est alimenté par 1 source de tension alternative sinusoïdale.
- * l'autre est l'enroulement secondaire il comporte n_2 spires et alimente la charge.

Ainsi l'enroulement primaire étant alimenté par une tension v il s'établit un flux magnétique forcé dans le circuit magnétique. Selon la loi de Lenz une force électromotrice induite apparaît aux bornes de l'enroulement secondaire que l'on fait débiter dans les appareils.

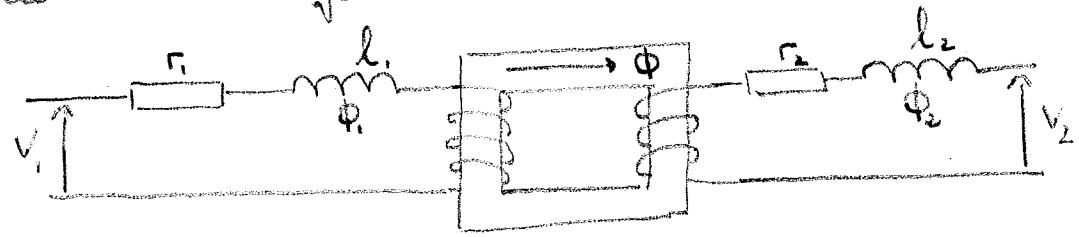
Le courant secondaire va s'opposer aux causes qui l'ont créé. Il va tendre à $\propto \phi$ forcé par la tension d'alimentation du primaire. Celle-ci va alors appeler 1 courant permettant de maintenir la valeur.

Le primaire module I et P appelées.

Circuit magnétique.



Modélisation du transfo réel :



r_1, r_2 : résistances internes de chaque enroulement.

Sources de perte de puissance par effet Joule
 $= P_{cuivre}$.

l_1, l_2 : rendent compte des pertes de flux
 lignes de champs de $E_1 \leftrightarrow$ pas de E_2 .

R : du circuit magnétique non nulle.

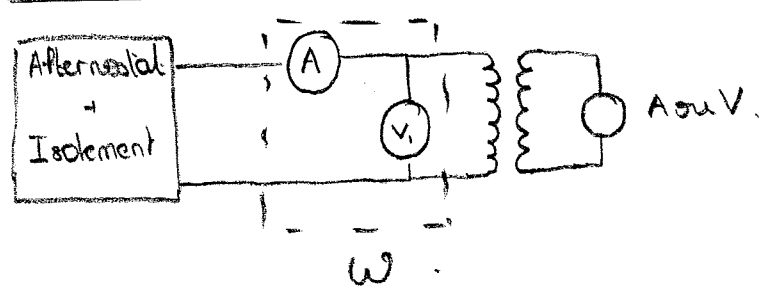
$$\begin{cases} \underline{V}_1 = r_1 \cdot \underline{I}_1 + j l_1 \omega \underline{I}_1 + j n_1 \omega \underline{\Phi} \\ \underline{V}_2 = -j n_2 \omega \underline{\Phi} - r_2 \underline{I}_2 - j l_2 \omega \underline{I}_2 \\ n_1 \underline{I}_1 - n_2 \underline{I}_2 = R \underline{\Phi} \end{cases}$$

Cependant dans les conditions de fonctionnement nominal fournies par le constructeur nous pouvons (négliger les pertes et la réactance du circuit magnétique) considérer que le transformateur a un comportement similaire au cas idéal ($R=0$, pas de fuites de flux, de pertes ferromagnétiques, B homogène)

$$\left. \begin{aligned} \underline{V}_1 &= j n_1 \omega \underline{\Phi} \\ \underline{V}_2 &= -j n_2 \omega \underline{\Phi} \\ n_1 \underline{I}_1 &\approx n_2 \underline{I}_2 \end{aligned} \right\} \quad \boxed{\frac{\underline{V}_2}{\underline{V}_1} = -\frac{n_2}{n_1} = \frac{\underline{I}_1}{\underline{I}_2}}$$

1. Lors des courants et des tensions

Quarante IV



Hermostat = auto-transformateur

- C'est un transfo dont 2 partie des enroulements est commune.
- De plus on peut faire varier celle ci et contrôler tension de sortie

Principe :

bobines peuvent supporter : $I_{max} = 2,5A$

A vérifier

Tension maximale à appliquer : $V_{max} = R I_{max} =$

On peut monter à 220V sans dépasser $I_1 = 2,5A$

course de V_1 et V_2 : Montage à vide $i_1 = i_2 = 0$ Pas d'effet Joule
pertes négligeables

$V_1 = 220V$

course de I_1 et I_2 : Montage en court circuit pr V_1 faible devant
tension nominale.

V_1 faible 99,5 V.



n_2	5000	4000	2000	1000	3000	1000	2000
n_1	5000	5000	5000	5000	5000	4000	4000
V_1	221	221,2	220,5	$\frac{219,6}{220}$	220,4	222	220,8
V_2	213	170,6	85	$\frac{424}{84,6}$	127,6	53,5	106,7
i_1	9,11	2,9	4,97	$\frac{81}{0,002}$	4,10	5,74	5,27
i_2	8,65	3,37	11,64	$\frac{2489}{1}$	6,39	21,46	11,78
$\frac{n_2}{n_1}$	1	0,8	0,4	0,2	0,6	0,25	0,5
$\frac{V_2}{V_1}$	0,96	0,77	0,38	0,19	0,57	0,24	0,48
$\frac{i_2}{i_1}$	1,05	0,86	0,34	0,20	0,64	0,26	0,44

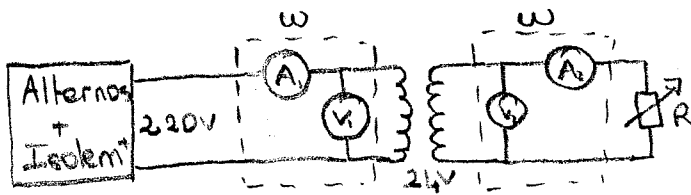
Incertitudes

Transfo caractérisé par: son rapport de transformation m_2/n_1 ,

- ses conditions de fonctionnement nominal
- son rendement énergétique.

Les 2^{es} caractéristiques peuvent être obtenues en faisant l'étude de:

$$\frac{V_2}{V_1} = f(i_2) \quad \text{et} \quad \frac{i_1}{i_2} = f(i_2).$$



Wallmuth: Transformateur a un comportement non linéaire
circuit magnétique = ferro $\rightarrow$ cycle hystérésis

- On contrôle ainsi V_{eff} et I_{eff} à chaque instant et on a alors accès à $P(t)$.

Détermination des conditions de travail:

$$\left. \begin{aligned} P_a &= V_{1,n} \cdot I_{1,n} \\ \frac{I_{1,n}}{I_{2,n}} &= \frac{n_2}{n_1} = m \end{aligned} \right\} I_{2,n} = \frac{P_a}{m V_{1,n}} = \underline{5 \text{ A}}$$

$$\begin{aligned} P_a &= 120 \text{ V/A} \\ V_{1,n} &= 220 \text{ V} \\ m &= 0,1 \end{aligned}$$

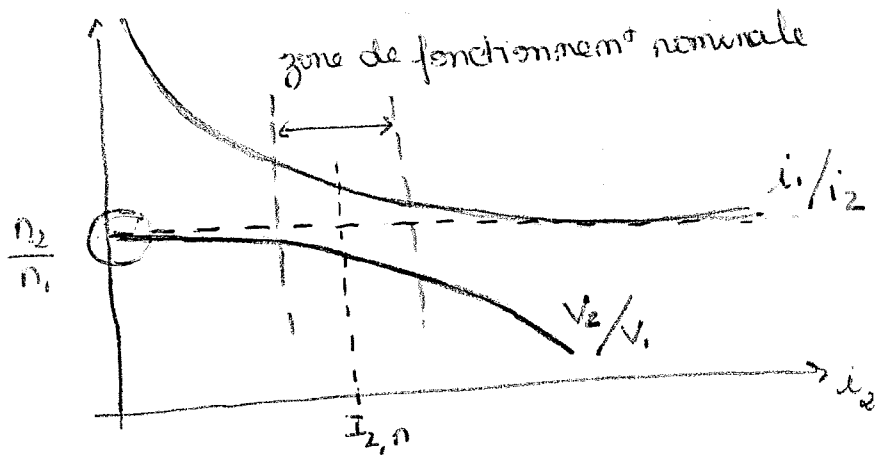
$$\left. \begin{aligned} V_{2,n} &\sim 24 \text{ V} \\ I_{2,n} &\sim \underline{5 \text{ A}} \end{aligned} \right\} R \sim \underline{4,8 \Omega}$$

$\left[\begin{aligned} \text{On fait varier } R \text{ de } \sim 0 \Omega \text{ à } \sim 50 \Omega. \\ \text{On fixe pour chaque mesure } V_1 = 220 \text{ V} \end{aligned} \right]$

Détermination expérimentale:

- Prendre 1 point: $V_1 = 220 \text{ V}$ $i_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ $0,658 / 0,333$
 $V_2 = \underline{23,6}$ $i_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ $5,24 / 2,42$

- Incertitude: $\Delta V_1 = \pm 0,5$ $\Delta i_1 = 0,001$
 $\Delta V_2 = \pm 0,1$ $\Delta i_2 = 0,01$



$i_1 = 0 \rightarrow$ Pontage à vide $\frac{V_2}{V_1} \sim \frac{n_2}{n_1}$

$117,5 \cdot 10^{-3}$

$\frac{n_2}{n_1} = \frac{+}{-}$

Constructeur
 $m =$

$i_{2,n} =$

$I_{2,n} = \frac{+}{-}$

4,14

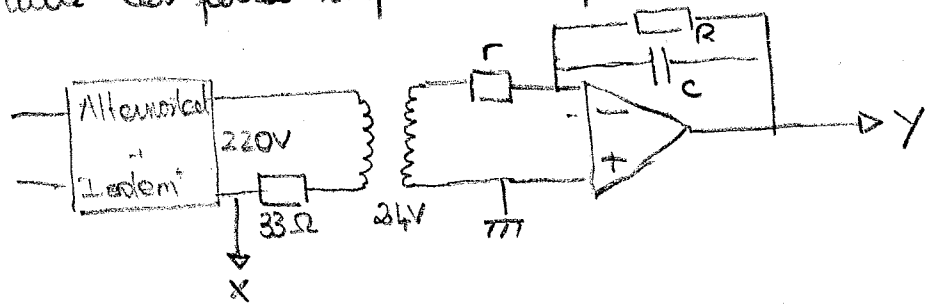
6,67

limites: si courants trop importants $P_{cuivre} \nearrow$
 si $\omega = C^k$ et $V_1 \nearrow, \phi \nearrow$ $P_{fer} \nearrow + P_{courant de Foucault}$
 si $V_1 = C^k$ et ω varie, ϕ varie $P \nearrow$

les pertes ont plusieurs origines: - effet Joules
 - Courant de Foucault
 - hysteresis étude de la partie suivante

3. Les pertes fer et Cycle d'hystérésis Quaranta IV.

étude des pertes importantes pour caractériser le rendement énergétique



- $r = 20 \text{ k}\Omega$ $100 \text{ k}\Omega$
- $R = 100 \text{ k}\Omega$ $250 \text{ k}\Omega$
- $C = 47 \mu\text{F}$ 100 nF

: éviter derive de l'intégration du si 2 valeurs intégrées non nulles.
 $R_C \gg \frac{1}{\omega C}$ $\omega = 20 \text{ kHz}$ On règle offset = 0

$$V^- = \frac{V_1/Z_{eq} + V_2/r}{\frac{1}{Z_{eq}} + \frac{1}{r}} = \frac{rV_1 + Z_{eq}V_2}{r + Z_{eq}} = V^+ = 0 \rightarrow rV_1 = -Z_{eq}V_2$$

$$R \gg r \rightarrow V_1 \approx -\frac{1}{j\omega C} V_2$$

$$V_2 = -j\omega n_2 \Phi \quad V_1 = \frac{n_2}{rC} \Phi = \frac{n_2}{rC} SB \quad \text{si } B \text{ uniforme}$$

$$\boxed{V_1 = \frac{n_2}{rC} SB}$$

$$V_x = -r_0 i_1 = -r_0 i_0 \quad (\text{courant quand transfo à vide}) \quad i^+ = 0 \rightarrow i_L = 0$$

$$\int \vec{H} \cdot d\vec{\ell} = n_1 i_0 = H\ell \rightarrow i_0 = \frac{H\ell}{n_1}$$

$$\boxed{V_x = -\frac{r_0 \ell}{n_1} H}$$

$$\text{Oscillo: } A' = V_x V_1 = -\frac{n_2}{rC} SB \cdot \frac{r_0 \ell}{n_1} H$$

$$\boxed{\oint_{\text{cycle}} \vec{B} \cdot d\vec{H} = -\frac{n_1 rC}{n_2 r_0 \ell} A'}$$

P_{moy} par unité de m^3 du circuit magnétique = aire de la courbe.

E fournie par la source entre 2 instants est divisée en deux: si ϕ ↑

- 1 dissipée par effet Joule
- 1 emmagasinée ds le circuit magnétique

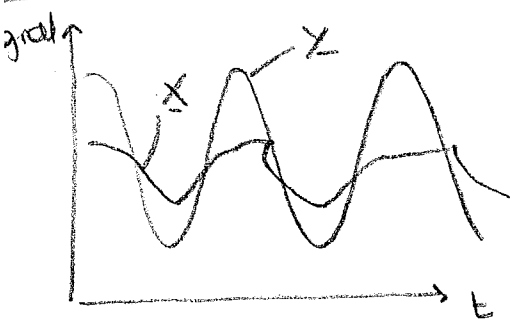
A un autre instant si ϕ ↓

- 1 dissipée par effet Joule
- 1 restituée mais < à celle emmagasinée

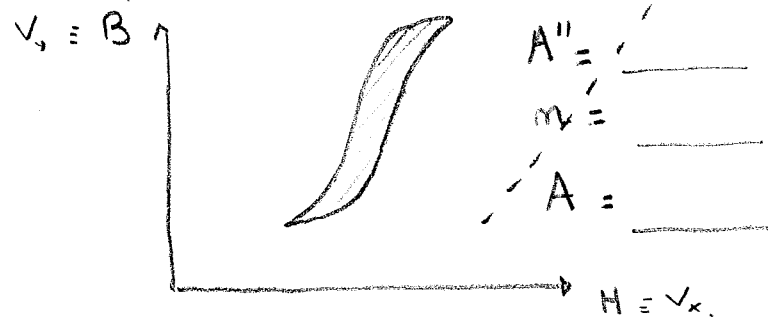
≠ au bout d'1 cycle = aire du cycle d'hystérésis

Circuit est le siège par hystérésis

1' oscillo :



Acquisition sur synchronie



Fonction integration $\rightarrow$ ct''

$ct = \frac{ct''}{n}$

 $m = \frac{\text{nb de période}}{\text{nb de cycles}}$

On constate pertes par hystérésis mais pb : $P' = \dots / m^3$ on en a pas accès à la masse du circuit.

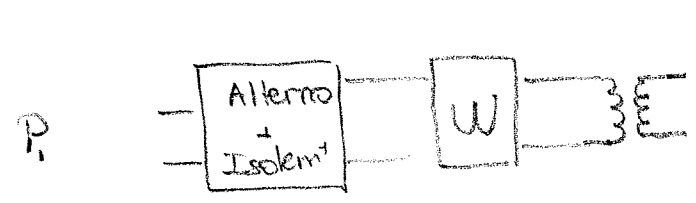
De plus courants de Foucaults pas pris en compte.

En industrie on préfère utiliser méthode des pertes séparées plus simple l'accès et $\odot$ coûteux d'un point de vue énergétique

4 Rendement énergétique. Quaranta IV.

site fer : essais à vide

$i_2 = 0 \Rightarrow i_1 \sim 0$ perte par effet Joules négligeable



$V_1 = 219,5$
 $I_1 = 0,038$
 $P_1 = 6,4$

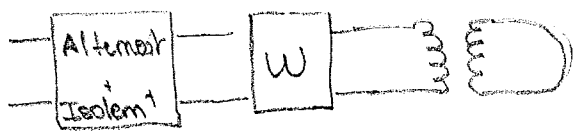
$P_{\text{fer}} = \underline{6,9} \pm 0,1 \text{ W.}$

49.

site cuivre : essai en court circuit.

$V_1 \ll V_{1,n} \Rightarrow$ perte magnétique faible car on a vu que $V_1 = jn, \omega \phi$

Pertes par effet Joules prédominent

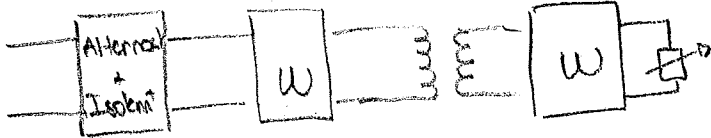


$$P_{\text{cuivre}} = P_2 = 8,1 \pm 0,1 \text{ W}$$

8,4
4,9
+0,1

$V_1 = 0$ puis on augmente jusqu'à V_1 tq $i_1 = i_{1,n} = 0,54 \text{ A}$

Rendement énergétique sur charge résistive



$$\Delta \eta = 0,1 \left(\frac{2}{P_E} + \frac{1}{P_{Fe}} + \frac{1}{P_{Cu}} \right)$$

$$\Delta \eta = 0,2 \left(\frac{1}{P_E} + \frac{1}{P_{Fe}} \right)$$

$$P_E = 70,1 \pm 0,1$$

$$P_{Fe} = 60,5 \pm 0,2 \quad \eta = \frac{P_E - (P_{Fe} + P_{Cu})}{P_E} = 0,77$$

$$P_E = 26,5$$

$$P_{Fe} = 199$$

$$\eta = \frac{P_E}{P_{E2}} = 0,86$$

$$P_E = 89,3 \pm 0,1$$

$$P_{Fe} = 59,8 \pm 0,1$$

Transfo utilisé pour le transport de l'E électrique de la centrale au foyer
 (P_E > perte transport sous haute tension qui doit ensuite être abaissée.

Redressement $\rightarrow$ alimentat^o des appareils à courant continu
 $\rightarrow$ charge des batteries.

II Redressement: Alternatif - Continu -

Composants vont être utilisés en régime de commutation c'est à dire que chacun sera conducteur pendant une durée limitée et qu'il seul redresseur conduit à chaque instant

Le déclenchement de l'un impose le blocage de l'autre.

Nous pourrions ou pas commander cette commutation.

Thyristors

diode.

$$\langle u \rangle = 0 \longrightarrow \langle u \rangle \text{ est } \neq 0 \text{ et la plus élevée possible.}$$

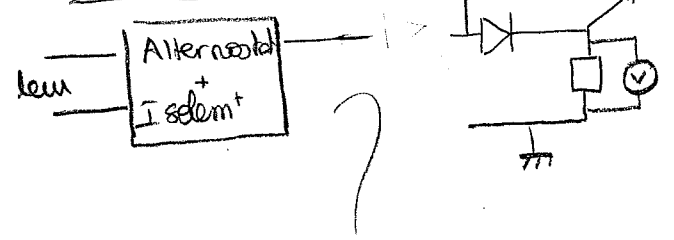
Base sur composant à caractéristique dissymétrique.

1. Redressement monoalternance

Duffaut + Quaranta III.

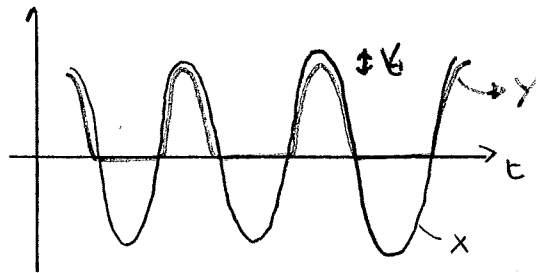
10

Non commandé

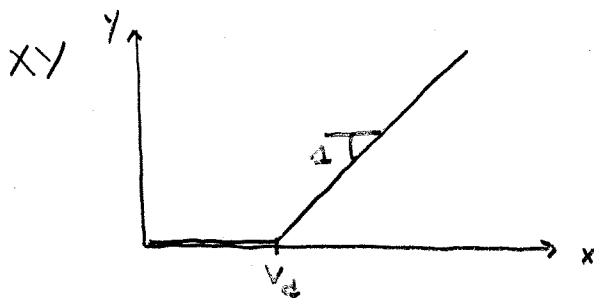


Diode 'élément non contrôlé' laisse passer le courant si $U < V_d$.

Tension positive diode laisse passer le courant
Tension négative diode bloque.



V_d = tension seuil de la diode $\approx 0,65$.



$V_d =$ _____
 $P =$ _____

Voltmètre continu : mesure de $V_{d, moy} = \frac{V_{d, max}}{\pi}$

• $V_{d, moy} =$

• $V_{d, max} =$

↳ $\frac{V_{d, max}}{\pi} =$

Voltmètre efficace vrai : $V_{d, eff} = \frac{V_{d, eff}}{\sqrt{2}}$

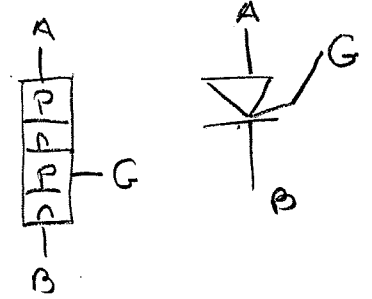
Taux d'ondulation : $\epsilon = \frac{V_{eff, 2(AC)}}{V_{moy, 2(DC)}}$

$\epsilon_{theo} = 1,21$

Le taux d'ondulation caractérise l'amplitude de la tension de sortie continue.

La diode est un élément non commandé

↓
Thyristor $\equiv$ diode commandée.



* Commande

Composant à 3 bornes $\rightarrow$ 2 bornes $\hat{=}$ la diode
 $\rightarrow$ 3^{ème} borne permet à l'expérimentateur de commander son fonctionnement

• Si le courant de gâchette est nul (càd. courant appliqué à la 3^{ème} borne) thyristor conducteur pr

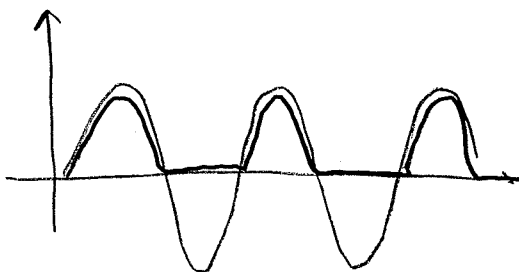
$V > V_0$ tension seuil du thyristor (100aine de V)

• Si on injecte un courant suffisant de qq's mA il devient conducteur pr des tensions $< V_0$.

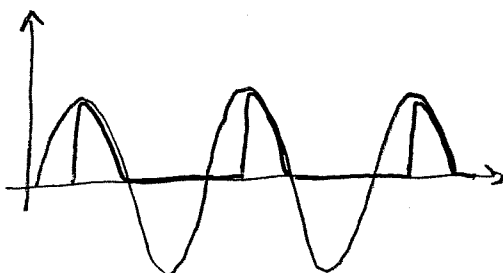
② On peut retirer courant de gâchette $\rightarrow$ reste conducteur tant que $V > 0$.

On remplace dans le montage diode par thyristor + plaquette de commande.

Plaquette de commande: Impulsion du courant de gâchette est synchronisée avec secteur.

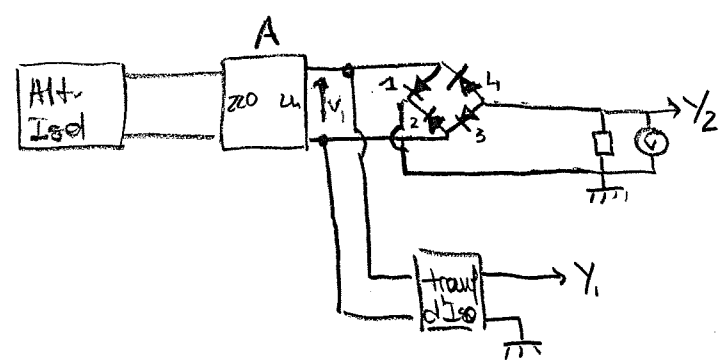


Commande nulle

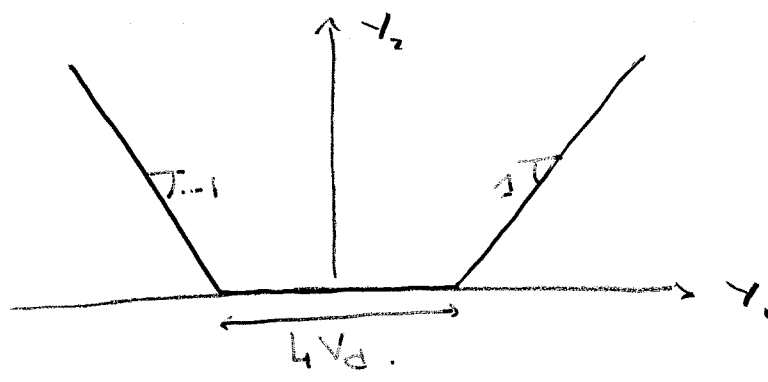
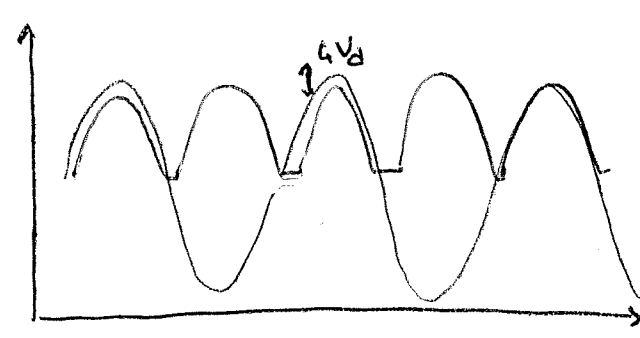


Impulsion déphasée d'un certain angle compris entre 0 et π .

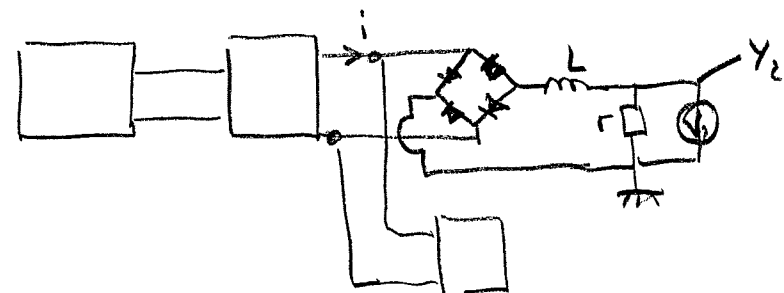
Principe très utilisé dans les appareils domestiques = Variateur



$$\begin{cases} A \rightarrow 1 \rightarrow R \rightarrow 3 \rightarrow A \\ A \rightarrow 4 \rightarrow R \rightarrow 2 \rightarrow A \end{cases}$$



issage en courant : circuit RL.



$i > 0$ chemin 1. $i < 0$ chemin 2

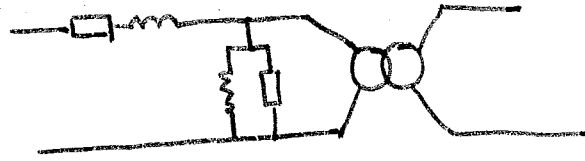
Continuité du courant assuré par RL. Décroissance expo



l'onde décroissant quasi linéaire : $\frac{L}{R} \gg \frac{1}{2\pi f}$ T du signal de départ

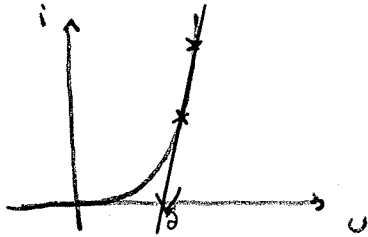
Rmq:

- * Utiliser bonne convention pour le modèle du transfo
- * Modélisation du transfo très simpliste



- * Faire étude de puissance sur la diode / thyristor

Calcul de la puissance dissipée dans la diode à θ fixé par le thyristor



- . Prendre 2 pts de fonctionnement
- . linéariser

$$P = V_{\theta} \langle I \rangle + R_{\theta} \langle I \rangle^2$$

